

*Adam Piestrzyński**

SUROWCE MINERALNE OCEANÓW

1. Wstęp

Coraz trudniej znajdujemy złoża surowców mineralnych na lądach. W tym obszarze od lat nie odnotowano sukcesu na miarę Turquoise Hill — złoża Cu-Au w Mongolii o zasobach kwalifikujących to złożo do klasy światowej. Równocześnie wraz z ogólnoświatowym wzrostem gospodarczym rozpoczął się wyścig o zdobycie dostępu do surowców mineralnych. Postępująca intensyfikacja wydobycia wielu surowców mineralnych spowodowała wyczerpywanie się ich zasobów zlokalizowanych w znanych złożach lądowych. Dotyczy to nie tylko takich surowców jak ropa czy gaz, których wydobycie z den i szelfów oceanicznych rośnie gwałtownie, ale również często kopalin pospolitych takich jak kruszywa, czy po prostu woda. W pracy pogładowej trudno jest przedstawić charakterystykę wszystkich surowców mineralnych, tym bardziej że istnieją dwa obszerne opracowania w języku polskim poruszające te problemy [2, 6]. Należy również pamiętać, że wiele złóż, które obecnie eksploatujemy na lądzie powstało w środowisku oceanicznym.

2. Klasyfikacja genetyczna złóż surowców mineralnych zlokalizowanych na szelfach i dnach oceanów

2.1. Złoża osadowe biogeniczne

Złoża osadowe biogeniczne z grupy złóż egzogenicznych są niewątpliwie jedną z ważniejszych grup surowców mineralnych. Do złóż tego typu należy zaliczyć złoża ropy naftowej, gazu ziemnego, hydratów i węgla kamiennego. Wraz ze zmniejszaniem się zapotrzebowania na węgiel kamienny rośnie znaczenie złóż kopalin surowców płynnych i gazowych.

Wydobycie węgla prowadzone było ze złóż podwodnych które znane były z rozpoznania na lądzie. Intensyfikacja wydobycia węgla ze złóż podmorskich miała miejsce w latach

* Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

50. i 60. XX wieku. Wydobycie węgla z takich złóż prowadzono w Wielkiej Brytanii, Japonii, Kanadzie, Norwegii i Rosji. Wydobycie prowadzono wykonując wyrobiska od strony lądu. Oznakami występowania podwodnych złóż węgla jest obecność jego obtoczonych okruców na plażach (czarne lekkie piaski i żwiry) pochodzących z podmorskich wychodni.

Początek eksploatacji „morskich” złóż ropy naftowej jest niewiele starszy od eksploatacji podmorskich złóż węgla kamiennego. Pierwszeństwo wydobywania przyznaje się Wenezueli na polu Maracaibo w roku 1933 (www.oceanatlas.com), aczkolwiek polscy inżynierowie (W. Zglenicki i P. Potocki) mają swoje miejsce w historii wydobywania ropy naftowej ze złóż „morskich” Morza Kaspijskiego. Wraz z prognozami o ograniczonych możliwościach znalezienia nowych złóż ropy i gazu na lądzie rośnie znaczenie nowych odkryć na obszarach morskich. Gwałtownie rośnie też wydobywanie osiągając obecnie (2011) około 35% światowej produkcji. Najważniejsze pola wydobywcze znajdują się w Zatoce Perskiej, Zatoce Meksykańskiej, Wenezueli, Morze Północne i wybrzeża Angoli. Na przykład w Zatoce Meksykańskiej odwierconych zostało dotychczas (2011) ponad 35 tys. otworów a ponad 4 tys. platform prowadzi wydobywanie. Otwory wiercone z platform półzanurzalnych lub ze statków wiertniczych sięgają głębokości 11 tys. m przy głęboko wody sięgającej 3 km. Po roku 2000 odkrytych zostało kilkanaście nowych pól o zasobach powyżej 100 mln ton w Australii, Indiach, Nigerii, Indonezji, Chinach, Egipcie (rys. 1), Norwegii i Brazylii. U wybrzeży Brazylii wskazuje się na obecność jednego z największych złóż „morskich” o zasobach szacowanych na miliardy ton. Podobne informacje dotyczą NW szelfu Australii, Morza Północnego, Morza Norweskiego, Morza Kaspijskiego, Morza Karskiego i Morza Barentsa, gdzie znajduje się olbrzymie złoża gazu ziemnego Sztokmanowskoje o zasobach podawanych w tys. mld m³.



Rys. 1. Morze czerwone z platformami eksploatacyjnymi ropy naftowej od strony wybrzeża Egiptu, 2003

Na tym tle zasoby polskiej części szelfu bałtyckiego wyglądają mniej niż skromnie. Zasoby złóż bloku Łeby (kilka złóż) zlokalizowane w piaskowcach środkowego kambru szacowane są na 40 mln ton.

Prowadzone od 20 lat badania nad możliwościami wydobycia tzw. gazu łupkowego odsunęły na dalszy plan badania nad wykorzystaniem gazohydratów. Gazohydraty (klatraty) – związki składające się z lodu i gazów zlokalizowanych w przestrzeniach między węzłami sieci krystalicznej lodu, odkryte i zdefiniowane zostały w latach 60. Na Świecie znanych jest już ponad 100 obszarów z obecnością gazohydratów zawierających metan oraz etan, propan i CO₂. W 1 m³ gazohydratu w warunkach ciśnienia normalnego znajduje się 164m³ metanu i 0,8 m³ wody [6]. Gazohydraty zalegają na skłonach szelfów kontynentalnych w osadach klastycznych na zwykle na głębokościach poniżej 1000m (zależy to od temperatury wody morskiej). Zasoby metanu w gazohydratach szacowane są na $1,8 \cdot 10^{14}$ do $11 \cdot 10^{15}$ m³ metanu [1] i są one większe niż dotychczas rozpoznane na lądzie.

Do surowców mineralnych o naturze biogenicznej należy zaliczyć jeszcze perły, kora-
le i bursztyn. Perły były pierwszym surowcem o naturze mineralnej pozyskiwanym ze śro-
dowiska oceanicznego. Naturalne perły straciły wprawdzie na znaczeniu handlowym, gdyż
większość materiału dostarczana jest z ferm hodowlanych, które pojawiły się już pod ko-
niec w XIX wieku. Perły z takich hodowli są konkurencyjne dla pereł naturalnych, w prak-
tyce są niemożliwe do odróżnienia. Perły naturalne pozyskuje się nadal z wód Zatoki Per-
skiej, Morza Czerwonego i Oceanu Indyjskiego i Australii Północnej.

Korale są typowym produktem biogenicznym powstającym wyłącznie na rafach kora-
lowych. Środowiska raf koralowych kurczy się coraz bardziej. Powodem takiego zjawiska
jest nadmierne zanieczyszczenie wód np. Morza Śródziemnomorskiego lub niszczeni Wiel-
kiej rafy u wybrzeży Australii przez rozgwieżdzy. Przykładem tego jest znikanie kolonii
koralu szlachetnego (*Corallim rubrum* i *Corallium nobile*), o różnych odmianach barwy
czerwonej, na Morzu Śródziemnym, gdzie wydobywano go od zamierzchłych czasów. Od-
miana czarna koralu szlachetnego wykorzystywanego w jubilerstwie składająca się wyłącz-
nie z substancji organicznej pochodzi głównie z wód Morza Chińskiego i Oceanu Indyj-
skiego. Pomimo ochrony raf koralowych ich nielegalna już eksploatacja postępuje nadal.
Na rynkach pojawiają się natomiast korale kopalne.

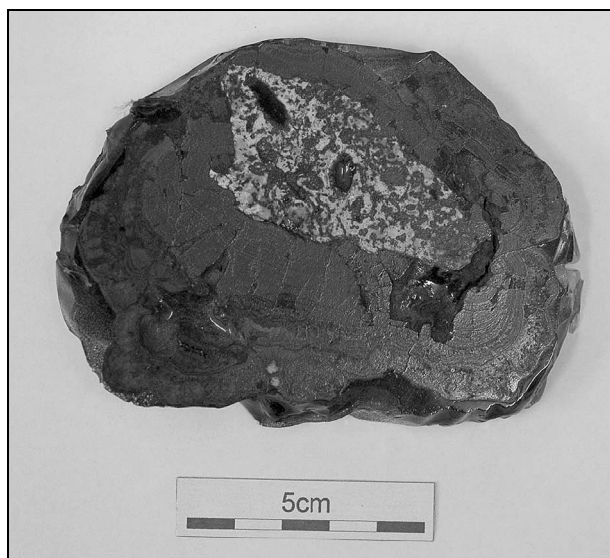
Bursztyn jest znanym surowcem wydobywanym od tysiącleci. W przeszłości był zbie-
rany głównie na plażach Bałtyku. Obecnie eksploatowany jest na lądzie — Półwysep sam-
bijski i na Ukrainie (złoże koło wsi Klesów). Bursztyn jest żywicą produkowana na lądzie
w lasach sosnowych. Jego złoża zlokalizowane są głównie na lądzie. Bursztyn dostaje się
na plaże głównie z wychodni podmorskich.

2.2. Złoża osadowe chemiczne

Złoża osadowe chemiczne metalicznych surowców mineralnych dna oceanów mają bez-
pośredni związek ze współcześnie powstającymi złożami hydrotermalnymi typu SEDEX.
Dotyczy to zarówno bezpośrednio wlewanych do oceanów olbrzymich ilości gorących wód

wzbogaconych w związki mineralne, jak również związków powstałych z ich podmorskiego utlenienia. Do tego typu złóż możemy zaliczyć wystąpienia konkrecji i naskorupień manganowych pokrywających około 28% powierzchni den oceanicznych [2], osadów den-nych [6], złóż soli, siarki i nagromadzenia fosforytów.

Ze wszystkich tych surowców, w najbliższej przyszłości tylko nagromadzenia konkrecji mają szansę na ekonomiczne wydobycie. Wiele krajów, w tym Polska, prowadzi zaawansowane prace nad udokumentowaniem ekonomicznych nagromadzeń, jak również nad sposobami ich wydobycia. Konkrecje (rys. 2) występują na olbrzymich obszarach równi oceanicznych (4000–6000 m) i głębokich skłonach szelfów kontynentalnych. Głównymi pierwiastkami wchodzącymi w skład konkrecji są mangan i żelazo, zaś pierwiastkami współwystępującymi Cu, Co, Ni, Mo, Cd, V, W, Au, Pb, In, Tl, Sb i inne. część tych pierwiastków jest zakwalifikowane przez Unie Europejską jako krytyczne, czyli niezbędne dla rozwoju technologii. Zawartości Cu, Ni, Co (tab. 1) wskazują na duże znaczenie surowcowe złóż konkrecji. W konkrecjach stwierdzono dotychczas obecność kilkudziesięciu minerałów, z których najważniejsze to: todorokit, birnessyt, wernadyt oraz getyt, akagenit, montmorillonit, nontronit i filipsyt [2].



Rys. 2. Przekrój przez dużą konkrecję manganową, w centrum — fragment zęba rekina, obszar złożowy firmy Interoceanmetal, Clarion–Clipperton, Pacyfik

Z wody morskiej pozyskuje się duże ilości soli kamiennej. Sól pozyskiwana jest z tzw. salin zlokalizowanych na płaskich brzegach morskich lub z części morza odgrodzonych od głównego zbiornika. Historia takiego górnictwa sięga tysiącleci. Górnictwo tego typu prowadzone jest w krajach o dużym nasłonecznieniu np. w basenie Morza Śródziemnomor-

skiego. Produktami „odpadowymi” przy produkcji soli kamiennej są zazwyczaj związki potasu bromu i magnezu. W zbiornikach morskich o dużym zasoleniu np. Morze Kaspijskie i Morze Martwe, tworzą się współcześnie złoża solo kamiennej.

Na skłonach szelfów kontynentalnych znane są nagromadzenia fosforytów. Wydobycie tych surowców z formacji piaskowcowych i mułowcowych nie jest planowane w najbliższych czasach. Konkrecje fosforytowe znane są przybrzeżnych akwenów Namibii, Florydy, Kalifornii, Nowej Zelandii i Australii. Obecne są również na wzniesieniach śródoceanicznych [6].

TABELA 1.

Skład chemiczny konkrecji manganowych z obszaru Clarion-Clipperton, Pacyfik wg Depowski i in. 1998, Kotliński (1993)

Pierwiastek	Clarion-Clipperton min.–max., [%]	Clarion-Clipperton średnie zawartości, [%]	Średnie zawartości w konkrecjach Pacyfiku wg Kazmin i in. 1984, [%]
Mn	11,2–34,1	30,72	18,4
Fe	22,–18,6	6,10	12,4
Ni	0,4–1,96	1,28	0,67
Cu	0,2–1,84	1,22	0,43
Co	0,11–0,45	0,25	0,29
Zn	0,08–0,04	0,15	0,072
Pb	0,02–0,35	0,049	0,084
Ag	0,002		

2.3. Złoża hydrotermalne

W tej grupie genetycznej złóż znajdują się złoża popularnie nazywane SEDEX’y. Są to złoża kopalin wielosurowcowych, głównie Cu, Zn i Pb i rzadziej Sn, Co, Ni, Au, Ag, Se, Te. Aczkolwiek ze względu na poruszaną tematykę możemy zaliczyć do tej grupy również hydrotermalne roztwory zmineralizowane i osady metalonośne. To właśnie te roztwory są odpowiedzialne za powstawanie złóż ekshalacyjno-osadowych, jak również są źródłem wzbogacającym w metale osady denne, gdzie powstają konkrecje manganowe. Odkrycie podwodnych hydroterm nastąpiło w 1977 r., podwodnych kominów rok później, aczkolwiek znacznie wcześniej w podręcznikach do nauki o złożach był przedstawiany udział roztworów hydrotermalnych w tworzeniu się złóż tego typu. Obecność obszarów o podwyższonej temperaturze na dnie oceanów była sygnalizowana przez wyprawę statku badawczego „Challenger” w latach 1873–1876. Ekpedycja ta dostarczyła również pierwszych informacji

na temat obecności osadów metalonośnych. Obecność takich osadów potwierdzona została późniejszymi wyprawami i badaniami, które stwierdziły, rozległe obszary z takimi utworami na wschodnim Pacyfiku i w rowie Morza Czerwonego [3]. Eksploatacja metalonośnych osadów powstających współcześnie jest mało prawdopodobna, natomiast nagromadzenia siarczków masywnych wokół kominów siarczkowych (*black smokers*) są przedmiotem zainteresowania wielu państw. Nagromadzenia te zawierają siarczki masywne (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Fragment wielokanałowego komina siarczkowego z obszaru, obszar złóżowy firmy Interoceanmetal, Clarion-Clipperton, Pacyfik



Rys. 4. Fragment komina zbudowanego z pirytu i chalkopirytu z, obszar złóżowy firmy Interoceanmetal, Clarion-Clipperton, Pacyfik

Głównymi siarczkami są piryt, chalkopiryt, sfaleryt i galena, towarzyszą im gips i anhydryt. Wokół strefy z występowaniem siarczków masywnych obecne są rozległe obszary z rozproszonymi rudami metali Cu, Zn i Pb. Współczesne nagromadzenia siarczków na obszarach den oceanicznych mają swoje odpowiedniki w typowych złożach SEDEX [7]. Zasoby takich wystąpień mogą sięgać dziesiątek milionów ton wielosuwrowcowej kopaliny o sumarycznej zawartości podstawowych trzech składników metalicznych sięgającej nawet 30%.

2.4. Złoża osadowe mechaniczne

W tej grupie znajduje się szeroka grupa surowców mineralnych, które są aktualnie przedmiotem wydobywania. Złoża te są złożami wtórnymi, w których materiał mineralny zwykle pochodzi z odległego źródła zlokalizowanego na lądzie, rzadziej z podmorskich wychodni. Są to złoża plażowe (rys. 5 i 6) i złoża zlokalizowane na szelfach kontynentalnych.

W tej grupie złóż wyróżnia się następujące grupy surowcowe:

- złoża kruszyw: piaski kwarcowe, węglanowe, żwiry;
- złoża okruchowe minerałów ciężkich: kasyteryt, rutyl, ilmenit, magnetyt, granat, cyrkon, monacyt, złoto rodzime i platyna rodzima;
- złoża okruchowe kamieni szlachetnych: diamentów, szafirów, rubinów, turmalinów, spineli, cyrkonów i topazów.

Złoża te charakteryzują się dużymi zawartościami łatwo dostępnego surowca, łatwością zagospodarowania i możliwością szybkiego podjęcia eksploatacji. Występują praktycznie na wszystkich kontynentach.



Rys. 5. Czarne piaski plażowe z magnetyt i ilmenitem na wyspie Halmahera, Indonezja 2009



Rys. 6. Czarne piaski plażowe, ze strefy pływów
na wyspie Halmahera, Indonezja 2009

Z wszystkich wymienionych surowców największym zainteresowaniem cieszą się złoża cyny (Tajlandia, Indonezja i Malezja), tytanu (Australia, Indie, Brazylia, Indonezja, Nowa Zelandia). Z tego typu złóż pozyskuje się również cyrkon i monacyt. Piaski złoto-nośne i platynonośne znane są z wybrzeży Alaski, eksploatowane były w latach 1987–1990. Poszukiwania za takimi złożami prowadzone są również na Filipinach i Australii.

Złoża diamentów znane są z wybrzeży Namibii, gdzie prowadzi się ich intensywną eksploatację prowadząc równocześnie na dużą skalę prace poszukiwawcze na nowych obszarach. Ilość wydobywanych diamentów ze złóż lądowych maleje. Potrzeby rynkowe uzupełniane są wzrostem wydobycia ze złóż plażowych i szelfowych. Złoża szafirów, rubinów, turmalinów, spineli, cyrkonów i topazów eksploatowane są w strefie brzegowej Sri Lanki.

Złoża cyrkonów i granatów (surowiec przemysłowy) eksploatowane są u wybrzeży Australii i Indii.

LITERATURA

- [1] Cherkasov G.A., Soloviev V.A.: Econic use of hydrates: dream or reality. 17th World Petroleum Congres, Rio de Janeiro, Brazil, Abstract of technical programme, 2002.
- [2] Depowski S., Kotliński R., Rühle E., Szamalek K.: Surowce mineralne mórz i oceanów. Wyd. Nauk. Scholar, Warszawa 1998: 384 p.
- [3] Gurvich E.G.: Metalliferous sediments of the World Ocean. Fundamental theory of deep-sea hydrothermal sedimentation, Springer Verlag, 2006, 416 p.
- [4] Kazmin J.B. (red.): Żelazomarganecowe конкреции Мирового океана. Изд. Недра, Ленинград, 1984, 66–161.
- [5] Kotliński R.: Geologija i konkrecijenosnost rajona pierwonaczalnoj diejatielnosti IOM. Szczecin, 1993, 47–92
- [6] Mizerski W., Szamalek K.: Geologia i surowce mineralne oceanów. PWN, Warszawa 2009, 211 p.
- [7] Prokin V.A., Buslaev F.P., Nasedkin A.P.: Types of massive sulphide deposits in the Urals. Mineralim deposita 34, 1998, 121–126.
- [8] Zagórski J.: Aktualia ropy naftowej i gazu ziemnego. Przegląd Geologiczny, 55/4, 2007.